

植物修复技术在水环境污染控制中的应用

张冬冬¹, 肖长来¹, 梁秀娟¹, 许 斌¹, 王宇轩¹, 孙瑞瑞²

(1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130026 ; 2. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要 综述了国内外植物修复的研究进展, 阐述了植物修复主要类型及机理。给出多种主要植物的修复特性。分别对重金属、无机营养元素 N、P 以及有机污染物的植物修复进行论述, 认为凤眼莲、水花生和芦苇等水生植物对无机营养元素的修复具有综合功效, 植物修复对残余农药、多环芳烃和硝基芳香化合物的治理效果显著。

关键词 水生植物 植物修复 水环境 污染控制 综述

中图分类号 : X131.2 **文献标识码** : A **文章编号** : 1004-693X(2010)01-0063-03

Application of phytoremediation in water environmental pollution control

ZHANG Dong-dong¹, XIAO Chang-lai¹, LIANG Xiu-juan¹, XU Bin¹, WANG Yu-xuan¹, SUN Rui-rui²

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China ; 2. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract : The progress of phytoremediation study at home and abroad is reviewed and the main types and mechanisms of the phytoremediation are explained. The remedy characteristics of several main plants are described. The phytoremediation of heavy metal, inorganic nutritive elements N and P, and organic pollutants was also discussed. The hydrophytes like Eichhornia Crassipes, Alternanthera Philoxeroides, and reeds were widely effective in treating inorganic nutritive elements. Phytoremediation had an obvious effect on residues of banned pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbon, and nitroaromatic.

Key words : aquatic macrophytes ; phytoremediation ; water environment ; pollution control ; review

生物修复作为新兴技术, 具有经济效益高、应用前景广泛的特点, 已经在全球得到迅速的发展和应用。污染水体的植物修复以独特的优势, 成为生物修复机理研究的新兴领域, 并且成为当前国内外研究的新热点。

1 植物修复的类型与种类

1.1 植物修复的概念

植物修复(phytoremediation) 指以植物忍耐和超量积累某种或某些化学元素的理论为基础, 利用植物及共存微生物体系清除环境中污染物的一门环境

污染治理技术^[1]。

将植物修复技术应用于水环境, 提出水生植物修复技术(hydrophyte remediation), 亦即以水生植物忍耐和富集某种或某些有机、无机污染物为理论基础, 利用水生植物或其与微生物的共生关系, 清除水环境中污染物的一种环境生物技术。

1.2 植物修复的主要类型

植物修复是利用植物在环境中萃取和浓缩某种元素从而去除污染物, 或使污染物降解为无毒害的过程一项绿色技术。植物的修复一般包括萃取^[2]、固定、过滤、挥发等过程, 对不同类型的植物和污染

基金项目 : “ 十一五 ” 国家科技支撑重点计划项目(2007BAB28B04-03, 2006BAB04A09-02, 2006BAJ08B09) ; 中国地质调查局项目(2003104001) ; 吉林省重点科技攻关项目(20020401) ; 教育部博士点基金(200801830044) ; 国家自然科学基金项目(40672157)

作者简介 : 张冬冬(1984 —) 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 研究方向为水文学及水资源。E-mail : inengdong02@163.com

通讯作者 : 肖长来, 教授。E-mail : xcl2822@126.com

物有不同的修复类型 ,如表 1 所示。

表 1 植物修复主要类型及机理

类型	修复机理
植物萃取 (phytoextraction)	利用超积累植物将金属从土壤中去 除 ,并集中 于植物的可收割部分
植物固定 (phytostabilisation)	利用植物降低或阻止环境中金属移动性以减 少污染物的生物有效性
根际过滤 (rhizofiltration)	利用植物根系的吸附和吸收从水流中去除污 染物
植物蒸发 (phytovalatilization)	利用植物某些金属或类金属的化学成分挥发 过程

1.3 植物修复的植物种类

水生植物是水环境植物修复的核心组成部分 , 修复结果依赖于修复植物本身的生物学性质。因此 ,植物筛选也是植物修复研究领域的重要内容之一。表 2 显示在水环境植物修复领域涉及的部分植物种类。

2 植物修复在水环境中的应用

2.1 对重金属的植物修复

为达到“ 种植物 ,收金属 ”的理想境界 ,人们对重金属超富集植物的研究产生浓厚的兴趣。植物修复是利用植物特性对水环境中污染物进行降解的生物过程 ,因此 ,对重金属的植物修复是很有前途的绿色生物技术。

目前对有关超富集植物已经有一定的研究基础 ,人们试图开发“ 超富集植物倾向 ”的传统植物。通过育种或转基因技术把超富集性状转移到生长速度快、适应环境强的植物。从遏蓝菜属的 Zn、Cd 超富集植物浅兰遏兰菜克隆到 Zn(Cd)转移蛋白 ZNT1、ZNT2、ZNT4、ZNT5、ZTP1、ZNT1LC 基因 ,Fe 转

移蛋白 IRT1G 基因^[4]。迄今为止 ,育种或转基因技术应用于植物修复的研究刚刚起步 ,成果还远未能达到商业化水平。

2.2 对无机营养元素 N、P 的植物修复

由于水环境恶化 ,富营养化问题严重 ,导致水生植物群落衰退 ,生物多样性降低 ,使水环境系统遭到破坏。水生植物是水环境中关键的生态群落 ,因此对解决富营养化问题具有重要意义。中国科学院水生生物研究所在湖北黄石完成的污水净化和污水资源化双重功能的新型稳定塘设计实验证明 ,水生植物修复具有明显去除 N、P 的效果^[5]。表 3 为富营养化水体植物修复的部分植物种类及综合功效分析^[6]。

表 3 植物修复富营养化水体的综合功效分析 %

植物名称	去氮性	去磷性	适用性	净化能力
凤眼莲 (eichhornia crassipes)	> 75	> 75	< 70	> 75
满江红 (azolla imbricata)	65 ~ 75	65 ~ 75	< 70	65 ~ 75
水花生 (alligator Weed)	> 75	< 65	< 70	65 ~ 75
慈姑 (sagittaria sagittifolia)	> 75	65 ~ 75	> 80	> 75
芦苇 (phragmites communis)	—	65 ~ 75	> 80	> 75
菱角 (trapa japonica)	< 65	< 65	> 80	> 75
睡藕 (nymphaea linn Sp)	< 65	< 65	> 80	> 75
金鱼藻 (ceratophyllum demersum)	65 ~ 75	< 65	> 80	65 ~ 75
美人蕉 (canna)	> 75	65 ~ 75	> 80	> 75
伊乐藻 (elodea canadensis)	> 75	> 75	> 80	> 75

表 2 水环境植物修复领域涉及的部分植物种类^[3]

植物名称	植物修复特性
燕麦草 (avena sativ)	可耐受高浓度的 Cu、Cd 和 Zn ,并可将这 3 种金属积累在茎部
凤眼莲 (eichhornia crassipes)	可除去水中污染物 ,包括有毒重金属。对不同元素 ,其累积部位不同 ,对 Cd、Cr、Cu、Ni、As 主要在根部 ,而 Se 在茎的累积量比在根部高得多
浮萍 (lemna mino)	每日吸收 Pb 和 Cd 的速率分别达到 3 ~ 8 mg/m ² 和 2 ~ 4 mg/m ² ,且植株生长快、容易收获
鸚鵡毛 (myriophyllum brasiliens)	在污染水体中 ,根部对 Cd 和 Ni 的富集率达 1 426 mg/kg(干重)和 1 077 mg/kg(干重)
细叶茨藻 (najas gram inea)	很有潜力的重金属污染水体修复植物 ,对重金属的吸收速率无明显差异 ,但 Cd 的吸收在 Pb 的质量浓度达到 100 mg/L 时有很大降低 ,与 Pb 低浓度下相比降低 50% 左右
水浮莲 (pistia stratiote)	在污染水体中 ,对 Cu 和 Hg 的富集率分别达 1 038 mg/kg(干重)和 1 217 mg/kg(干重)
杠板归 (polygonum hydropiperoid)	很有潜力的重金属污染水体修复植物 ,其植株生长速度快、密度高 ,对 Cr 和 Pb 的富集率分别达 2 980 mg/kg(干重)和 1 882 mg/kg(干重)
遏蓝菜 (thlaspi caerulescens)	自然生长的植株对 Zn 的富集率达 2 180 ~ 13 520 mg/kg(干重) ,还有积累 Cd 和 Ni 的能力
香蒲 (typha latifol)	对 Se、B 及某些有机物均有去除作用 ,对 Cu、Ni 和 Zn 的富集率分别可达 1 156.7 mg/kg、296.7 mg/kg 和 1 231.7 mg/kg

2.3 对有机污染物的植物修复

随着新兴工农业的发展和生活水平的不断提高,环境中有机物种类增多,传统的微生物修复已经不能达到预期效果,植物修复以其独特优势,已经提到研究日程上来,甚至已经达到野外应用的水平。

a. 对残余农药的植物修复。虽然许多国家已经停止使用有机农药,但其对水环境的影响依然存在,仍可以检测到农药的残留,对人类生存环境存在潜在的危害。典型的杀虫剂 DDT 及其代谢物都是持久性污染物,在无菌条件下,水生植物鸢尾毛、浮萍、伊乐藻,6d 内可以富集全部水环境中的 DDT,并能将 1%~13% 的 DDT 降解为 DDD 和 DDE^[7]。

b. 对多环芳烃的植物修复。多环芳烃是指两个以上苯环以稠环形式相连的化合物,是一类广泛存在于环境中具有致癌、致畸、致突变性的持久性有机污染物^[8]。在实验室研究的基础上,发达国家基本达到野外应用水平。Denys 等^[9]在法国北部的前炼焦厂污染土壤上种植多种不同类型植物,36 个月 after 多环芳烃质量浓度最多减少了 26%,证明混合种植的草本植物最适于进行植物修复^[9]。植物修复多环芳烃是一种可行的、低价的原位修复技术。

c. 对硝基芳香化合物的植物修复。硝基苯为无色或淡黄色油状液体,具有苦杏仁味,蒸汽及液体本身有毒,具有致突变、致癌性。水环境中的硝基芳香化合物污染主要来自于炸药工业。根据报道:在美国国防部确定的 1 000 多个炸药污染区域中,有 95% 以上为 TNT 污染,且 87% 超过允许的地下水污染标准^[10]。TNT 的植物修复却是一项耗能很低或不需要耗能,绿色安全,对人类和水环境无副作用,不会造成二次污染的最好治理方法。

3 植物修复的发展趋势及应用前景

植物修复在水环境污染控制与修复中具有重要作用,应用前景十分显著^[11]。应重点在以下几个方面进行研究和应用:

a. 加强植物修复机理的研究,尤其对植物根系微生物共存体系的研究。

b. 加强超积累植物的筛选和栽培。寻找更多指示污染物有效性的野生或栽培植物,采用转基因工程技术改造植物,以获得具有强大富集能力的理想超积累植物。

c. 加强辅助措施优化植物修复过程。将园艺学、土壤学和植物生理学与分子生物学等结合起来,研究元素在植物修复的途径。

d. 加强多种修复技术联合应用的研究。植物修复应与物理修复、化学修复、微生物修复等其他修复技术相结合。

4 结 语

a. 浮萍、杠板归和水浮莲等水生植物去除水环境中的重金属元素是绿色生物过程。

b. 凤眼莲、水花生和芦苇等水生植物对无机营养元素的修复具有综合功效。

c. 植物修复对残余农药、多环芳烃和硝基芳香化合物的治理效果显著。

参考文献:

[1] 林琦. 重金属污染土壤植物修复的根际机理[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.

[2] KUMAR P B, DU SHENKO V V, MOTTOH, et al. Phytoretraction; the use of plants to remove heavy metals from soil[J]. Environment SCI-Techno, 1995, 29: 1239-1245.

[3] DEBUSK TA, LAUGHLIN R B J, SCHWARTZ L N. Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland[J]. Water Research, 1996, 30(11): 2707-2716.

[4] PENCE N S. The molecular physiology of heavy metal transport in the Zn/Cd hyper accumulator *Thlaspi caerulescens*[J]. PNAS, 2000, 97(9): 4956-4960.

[5] 陈金霞, 徐王华, 张小莉. 生物修复技术在污染治理中的应用[J]. 上海化工, 2000(9): 4-7.

[6] 周德春. 植物生态修复技术研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2006.

[7] GAO J, CARRISON A W, HO C C, et al. Uptake and phyto-transformation of p,p'-DDT and p,p'-DDT by axenically cultivated aquatic plants[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 6121-6127.

[8] MEUDEEC A, DUSSAUZE J, JOURDIN M, et al. Gas chromatographic-mass spectrometric method for polycyclic aromatic hydrocarbon analysis in plant biota[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1108: 240-247.

[9] DENYS S, ROLLIN C, GUILLOT F, et al. In situ phytoremediation of PAHs contaminated soils following a bioremediation treatment[J]. Water Air and Soil Pollution: Focus, 2006, 6: 299-315.

[10] RODGERS J D, BUNCE N J. Treatment methods for the remediation of Nitroaromatic explosives[J]. Waters, 2001, 35: 2101-2111.

[11] 韩照祥. 植物修复污染水体和土壤的研究进展[J]. 水资源保护, 2007, 23(1): 9-12.

(收稿日期: 2008-09-04 编辑: 高渭文)